

## 論文の内容の要旨

論文題目 適応機構を有する実時間センサ情報処理システムの研究

氏 名 鏡 慎吾

人間の知的活動が高度化し、情報処理技術が進展するとともに、実世界から情報を取得するためのセンサ情報処理技術に対する要求も高度化・多様化している。一般にセンシングとは、実世界から利用者にとって有用な情報を選択・抽出する行為を意味するが、ますます多様化し続ける利用者の要求に応えるためには、センシング目的や環境に対してこれらの過程を適応させるための技術の確立が重要となる。

さまざまなセンサ情報の中でも、視覚情報は特に重要なもののうちの一つである。視覚センサとしては、従来から CCD 型のイメージセンサが広く用いられているが、視覚情報の利用目的が広範になり、要求が高度化するのにつれて、そのフレームレートや、ダイナミックレンジ、感度特性などの性能が、必ずしも満足のいくものではないことが認識されつつある。一方で、これらの各性能はしばしば互いにトレードオフの関係にあり、あらゆる性能指標について常に最大の性能を得ることは困難である。

本論文は、ソフトウェアによって制御される適応機構を画素レベルの構造に導入した実時間視覚センシングシステムを実現することを目的とし、その実現のために必要となるアーキテクチャおよびセンサ制御手法を提案するとともに、これらの技術の応用に向けたセンサ情報処理アルゴリズムを提案するものである。具体的には、センシング特性をソフトウェアで制御でき、かつ十分な処理性能を有する実時間視覚処理システムを設計・実装し、その特性の制御を実現するアルゴリズムを提案した。また、このように特性制御の可能なセンシングシステムの利用に際して、さまざまなトレードオフを定量的に扱って、適切なセンシング戦略を構成するための手法を提案した。

まず、センサを高い時間分解能で実時間制御することを可能とするためのマイクロコントローラのアーキテクチャを提案した。ここではセンシング特性を制御する際に必要となる実時間制御の時間分解能について考察し、特にセンシング対象が持つ周波数特性や、デバイスの物理的制約に応じて、高い時間分解能が要求されることを指摘した。この要求に基づき、SIMD アレイ型のセンサの制御を行うためのマイクロコントローラアーキテクチャ

を提案した。このアーキテクチャは 32 ビットの RISC 型プロセッサに、制御コードの生成・送出やデータ入出力といった SIMD アレイの制御を行う専用パイプラインが統合された形になっており、命令サイクルの時間分解能での実時間動作を保証できる点を特徴としている。

次いでこのアーキテクチャに基づき、ビジョンチップを用いた実時間視覚処理システムの設計と実装を行った。ビジョンチップは、イメージセンサの各画素ごとに処理回路が集積された SIMD アレイであると見なすことができる。ここでは、制御手順も開発に付随する要求も異なる 2 種類のビジョンチップを制御対象として取り上げ、同アーキテクチャのもとで、要求に応じてさまざまな設計を行うことが可能であることを示した。またこれらの設計に基づいて実装された実時間視覚処理システムについて述べ、実際にビジョンチップを搭載して高速に視覚処理を行うことが可能であることを示した。

この視覚処理システムにおいて、その視覚センサとしての特性をソフトウェアで制御するための具体的な手法を提案した。高い時間分解能での実時間制御が可能なることを利用して、ノイズの影響を最小化する条件のもとで、任意の量子化間隔で入力光の A-D 変換を行うことができることを示した。提案手法では、ある時間だけ光電流を蓄積した際の信号レベルが、ある参照電位に達しているかどうかを判定することで、量子化の各境界値との比較を行う。それぞれの境界値に対して、この「時間」と「参照電位」という 2 つの自由度を適切に制御することで、ダイナミックレンジやノイズ耐性、フレームレートといったさまざまな特性を必要に応じて所望のものに設定することを可能としている。この手法を、実現された実時間視覚処理システムに実装し、その有効性を示すとともに、提案した制御アーキテクチャが、センサ特性の制御という目的に対して有効に機能することを示した。

以上により、ソフトウェアによって特性を制御できる視覚センサの実現という目的に対する一つの解を与えた。一方で、このように特性制御の可能なセンサを用いる際に、どのような特性を設定すべきであるかは、さらに別の問題である。そこで、本論文では以上の内容に続いて、センシング目的に応じて、最適な特性を動的に選択するための手法を論じた。ここでは視覚センサのフレームレートと画質がトレードオフの関係にあることに着目し、このトレードオフを定量的に扱って、最適なフレームレートを選択することを目的とした。この問題を解決するために、異なるフレームレートでの視覚センシングをカルマンフィルタを用いて表現し、良いセンシング戦略とは推定誤差の共分散行列を最小化するものであると定めることにより、両者を共通の基準で評価できる枠組のもとに置いた。具体的なタスクとして、運動する対象を視覚センサで観測してその軌道を推定する問題を取り上げ、これを上記の枠組に当てはめることで、適切なフレームレートが選択できることを

数値実験により示した。

以上では、単一のセンサにおける適応機構を扱って来たが、最後に、複数のセンサがネットワークにより結合された場合のセンサ情報処理の適応機構を論じた。ここでは、センシング目的に応じて、対象の情報を効率よく得ることができるようなセンサをネットワーク内から選択するための手法について、特にネットワークを介して情報を受け取る際の通信遅延の存在を明示的に取り扱った形で議論した。まず、複数のセンサがそれぞれ異なる通信遅延を持ち、またその遅延が変動して、結果としてセンサ情報が実際の時刻とは順不同で到着する場合でも、それらの情報を正しく統合できるように拡張されたカルマンフィルタを提案した。これは、遅延を伴って到着するセンサ情報をそのタイムスタンプに基づいて順次統合できるアルゴリズムとなっている。次いで、この拡張されたカルマンフィルタによる状態推定を行う際に、適切なセンサを選択するための手法を提案した。この手法は、センサを選択する基準として従来から用いられている相互情報量を利用しているが、現在時刻の推定値にもたらされる情報量が通信遅延によって減少する点を、定量的に表現できている点を特徴とする。このカルマンフィルタのアルゴリズムおよびセンサ選択のアルゴリズムを数値実験で検証し、その有効性を示した。